

Teoria e Normativa.

Le prove dinamiche continue sono state ideate per lo studio dei terreni incoerenti, i dati elaborati per gli strati coesivi quindi, sono da considerarsi utili solo per un primo inquadramento del problema.

3.1) *Correlazione con SPT.*

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, occorrerebbe in teoria applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive. Ciò può essere fatto secondo due criteri differenti:

- correzione sulla base delle differenti modalità esecutive: penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all' SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; per riportare il numero di colpi dell' SPT con quelli del dinamico continuo diversi Autori propongono l'applicazione del seguente fattore correttivo:

$$Cf = \frac{M1 \cdot H1 \cdot P11 \cdot Ap1}{M2 \cdot H2 \cdot P12 \cdot Ap2}$$

dove:

M2	= peso del maglio SPT (63.5 kg);
H2	= volata del maglio SPT (75 cm);
P12	= passo di lettura SPT (15 cm);
Ap2	= area della punta SPT (20.4 cmq);
M1	= peso del maglio del dinamico continuo;
H1	= volata del maglio del dinamico continuo;
P11	= passo di lettura del dinamico continuo;

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

Ap1 = area della punta del dinamico continuo.

Il numero di colpi da utilizzare nel calcolo dei parametri geotecnici sarà dato da:

$$N_{spt} = C_f N_{scpt}$$

Il coefficiente C_f può essere visto più semplicemente come il rapporto fra l'efficienza, in termini di energia, dell'infissione fra una prova SCPT e una SPT. Normalmente si considera per una prova SPT un'efficienza media del 60%, intendendo con questo numero che rispetto all'energia totale trasmessa dal maglio alla batteria di aste solo il 60% viene impiegato per fare avanzare la punta nel terreno, mentre la differenza si perde per gli attriti o per la deformazione elastica delle aste. Quindi C_f può essere espresso come segue:

$$C_f = \frac{E_{scpt} \%}{E_{spt} \%} = \frac{E_{scpt} \%}{60}$$

dove E_{scpt} è l'efficienza d'infissione della prova SCPT.

- correzione sulla base delle litologie incontrate: si è dimostrato, nelle correlazioni SPT-SCPT, che generalmente il rapporto fra il numero dei colpi misurato con i due strumenti (N_{spt}/N_{scpt}) tende a 1 per granulometrie grossolane, mentre tende a crescere per granulometrie più fini; si suggeriscono le seguenti correlazioni proposte in letteratura:

Correlazione			Litologia
NSPT	= 1	x NSCPT	Ghiaie e ghiaie sabbiose
NSPT	= 1.25	x NSCPT	Sabbie e ghiaie con fine plastico
NSPT	= 1.5	x NSCPT	Sabbie con molto fine
NSPT	= 2	x NSCPT	Limi
NSPT	= 2.5	x NSCPT	Argille limose/sabbiose
NSPT	= 3	x NSCPT	Argille

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

In ogni caso si tratta di correlazioni empiriche che vanno utilizzate con cautela. In particolare, per quanto riguarda la correzione in funzione della litologia, questa andrà calibrata sulla base delle caratteristiche litologiche locali.

Poiché esistono molti tipi di penetrometri dinamici con diverse caratteristiche, per poter utilizzare i metodi di interpretazione calibrati per la SPT è necessario apportare delle correzioni ai risultati ottenuti. Muromachi e Kobayashi (1981) hanno presentato una correlazione fra N_{30} (colpi per 30 cm di penetrazione) ed N_{spt} . Il penetrometro usato è l'RTRI-HEAVY, giapponese, con maglio di 63,5 Kg, caduta 75 cm, $d_{punta} = 5,08$ cm, il quale è simile al penetrometro italiano tipo EMILIA-DPSH. I due autori trovano che i dati, rilevati in materiali compresi in un'ampia gamma granulometrica e senza tenere conto dell'attrito laterale lungo la batteria delle aste, consentono la seguente relazione :

$$\frac{N_{30}}{N_{spt}} = 1.15$$

Tenendo invece conto dell'influenza dell'attrito laterale la relazione diventa :

$$\frac{N_{30}}{N_{spt}} = 1 ,$$

i risultati quindi in questo caso possono essere utilizzati senza alcuna correzione.

Da alcune indagini italiane la relazione tra N_{30} e N_{spt} diventa :

$$\frac{N_{30}}{N_{spt}} = 0.57 ,$$

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

Le prove sono state condotte da Tissoni (1987) in ghiaie sabbioso-limose con il penetrometro superpesante Meardi-AGI e dallo Studio Geotecnico Italiano con lo stesso penetrometro in depositi sabbioso limosi, talvolta con ghiaia fine.

Uno studio indiano presenta i risultati di prove penetrometriche eseguite con penetrometro superpesante (maglio di 63,5 Kg, caduta 76 cm, dpunta 63,5 cm), in terreni costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie fini con limo e depositi sabbioso-limoso-argillosi con ghiaia.

La relazione tra N_{30} e N_{spt} diventa :

$$1.5 > N_{30}/N_{spt} > 0.8$$

la quale, tenendo conto del maggior diametro di punta rispetto alla misura standard (63,5 cm invece di 50,5 cm) assume la seguente forma:

$$0.95 > N_{30}/N_{spt} > 0.5,$$

vicina alle esperienze italiane.

Per quanto riguarda il penetrometro medio leggero tipo EMILIA la relazione tra N_{10} (numero di colpi per 10 cm di affondamento) e N_{spt} è la seguente :

$$0.7 N_{spt} \geq N_{10} \geq 1.2 N_{spt}$$

Conoscendo la natura del terreno e N_{10} si può ricavare N_{spt} dalla seguente tabella (Vannelli e Benassi, 1983):

Terreni prevalentemente coesivi			Terreni prevalentemente granulari		
$N_{10}/N_{spt} \geq 0.7-0.8$	per	$8 \leq N_{10} \leq 14$	$N_{10}/N_{spt} \geq 0.95-1.0$	per	$8 \leq N_{10} \leq 15$
$N_{10}/N_{spt} \geq 0.8-1.0$	per	$14 \leq N_{10} \leq 18$	$N_{10}/N_{spt} \geq 1.0-1.2$	per	$15 \leq N_{10} \leq 30$

3.2) *Determinazione della litologia e della resistenza dinamica.*

3.2.1) Litologia

Non esiste attualmente in letteratura una correlazione fra il numero di colpi misurato con il penetrometro dinamico e la litologia degli strati attraversati. Una correlazione può essere effettuata assimilando la procedura d'infissione delle aste e del rivestimento nella prova SCPT a quella di pali battuti di piccolo diametro. Per tali tipologie di palo esistono in letteratura delle indicazioni dei valori di resistenza laterale all'infissione in funzione delle diverse litologie. Sulla base di questi dati e di un'ampia casistica relativa all'esecuzione di prove SCPT in litologie differenti, vengono proposte le seguenti correlazioni in funzione del rapporto n.colpi della punta / n.colpi del rivestimento:

Rapporto Npunta/Nrivestimento	Litologia
< 0,25	Argilla
0,25 - 0,40	Argilla con limo o sabbia
0,40 - 0,70	Limo
0,70 - 2,25	Sabbia con limo o limosa
2,25 – 4	Sabbia o ghiaia con matrice plastica
> 4	Ghiaia o ghiaia + sabbia

3.2.2) Resistenza dinamica

La resistenza dinamica viene calcolata con la seguente relazione :

$$Rd(Kg / cmq) = \frac{P^2 H}{Ap Rf (P + Pa + Pt)}$$

dove:

- P (kg) = peso del maglio;
- H (cm) = volata del maglio;
- Ap (cmq) = area della punta;
- Rf (cm) = rifiuto medio, dato dal rapporto fra lunghezza del tratto d'avanzamento e numero di colpi per tratto d'avanzamento (30/Nspt);
- Pa (kg) = peso della colonna di aste;
- Pt (kg) = Peso della testa di battuta.

3.3) Stima dei parametri geotecnici.

3.3.1) Parametri degli strati incoerenti

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

I parametri geotecnici calcolabili per terreni incoerenti (componente sabbiosa o ghiaiosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori di N_{spt} sono i seguenti:

- angolo di resistenza al taglio ϕ ;
- densità relativa D_r ;
- modulo di deformazione (o di Young) E_{50} ;
- modulo edometrico M_0 ;
- modulo dinamico di taglio G_0 .

3.3.1.1) Angolo di resistenza al taglio ϕ .

L'angolo di resistenza al taglio del materiale indagato può essere valutato attraverso due categorie di metodi: i metodi di correlazione diretta $N_{spt}-\phi$ e i metodi di correlazione indiretta. Tra i metodi di correlazione diretta $N_{spt}-\phi$ vanno considerati, in generale, più attendibili quelli che esprimono ϕ anche in funzione della pressione efficace ϕ agente sullo strato.

Metodi di correlazione diretta

a) Road Bridge Specification

Il metodo è valido per sabbie fini o limose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8 - 10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ($\sigma > 15-20$ t/mq).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = \sqrt{15N_{spt}} + 15$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio misurato nello strato.

b) Japanese National Railway

Il metodo è valido per sabbie medie - grosse fino a sabbie ghiaiose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità superiori a 8 - 10 m nel caso di terreni sopra falda e di 15 m per terreni immersi in falda ($\sigma > 15-20$ t/mq).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = 0,3N_{spt} + 27$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio misurato nello strato.

c) De Mello

Il metodo di De Mello è valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il p.c.). E' da considerarsi inattendibile però per valori di φ superiori a 38° .

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = 19 - 3,8\sigma + 8,73\text{Log}(N_{spt})$$

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

dove σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cmq e N_{spt} il numero di colpi medio misurato nello strato.

d) Owasaki & Iwasaki

Il metodo è valido per sabbie da medie a grossolane fino a debolmente ghiaiose. Anche questo metodo trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8 - 10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ($\sigma > 15-20$ t/mq).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = \sqrt{20N_{spt} + 15}$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio misurato nello strato.

e) Sowers

Il metodo di Sowers (1961) è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova inferiori a circa 4 m per terreni sopra falda e inferiori a circa 7 m per terreni in falda ($\sigma > 5-8$ t/mq).

La relazione è la seguente:

$$\varphi = 28 + 0,28N_{spt}$$

f) Malcev

Il metodo di Malcev (1964) è invece valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il p.c.). E' da considerarsi inattendibile per valori di φ superiori a 38°.

$$\varphi = 20 - 5\text{Log}(\sigma) + 3,73\text{Log}(N_{spt})$$

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

dove σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cmq e N_{spt} il numero di colpi medio misurato nello strato.

g) Peck-Hanson & Thornburn

Il metodo di Peck - Hanson & Thornburn è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova inferiori a circa 5 m per terreni sopra falda e inferiori a circa 8 m per terreni in falda (pressione efficace inferiore a 8-10 t/mq).

$$\varphi = 27,2 + 0,28N_{spt}$$

h) Meyerhof

Il metodo di Meyerhof (1965) che correla φ con N_{spt} medio dello strato in funzione della sua granulometria, è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità inferiori a 5 m (relazione 1) e 3 m (relazione 2) nel caso di terreni sopra falda e inferiori a 8 m (relazione 1) e 5 m (relazione 2) per terreni sotto falda (pressione efficace inferiore a 5-8 t/mq).

$$\text{(rel.1) } \varphi = 29,47 + 0,46N_{spt} - 0,004N_{spt}^2 \text{ (< 5\% di limo)}$$

$$\text{(rel.2) } \varphi = 23,7 + 0,57N_{spt} - 0,006N_{spt}^2 \text{ (>5\% di limo)}$$

i) Hatanaka e Uchida

A differenza delle formule precedenti questo metodo propone una correlazione fra φ il parametro $N1$ (resistenza penetrometrica normalizzata rispetto alla pressione efficace di 1 kg/cmq).

$N1$ viene valutato con la relazione di Liao e Whitman (1986):

$$N1 = N_{spt} \left(\frac{1}{\sigma_{v0}'} \right)^{0.5}$$

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

dove σ_{v0}' è la pressione efficace alla profondità di lettura.
L'angolo di attrito viene fornito quindi dalla relazione:

$$\varphi = \sqrt{20N1} + 20$$

Metodi di correlazione indiretta

a) Schmertmann

Questo metodo correla φ con la densità relativa dello strato in funzione della sua composizione granulometrica.

Il metodo è valido per sabbie e ghiaie in genere. Facendo riferimento ad un altro parametro, affetto generalmente da errore non trascurabile, i valori di φ vengono ad essere quasi sempre sovrastimati.

$\varphi = 28 + 0,14Dr$	Sabbia fine
$\varphi = 31,5 + 0,115Dr$	Sabbia media
$\varphi = 34,5 + 0,10Dr$	Sabbia grossa
$\varphi = 38 + 0,08Dr$	Ghiaia

3.3.1.2) Densità relativa.

La densità relativa viene valutata attraverso correlazioni applicabili solo nel caso di terreni prevalentemente sabbiosi.

In presenza di depositi ghiaiosi si ottengono valori eccessivamente elevati e quindi a sfavore della sicurezza: in questo caso si consiglia di adottare il valore più basso fra quelli calcolati con metodi differenti.

a) Gibbs & Holtz

Il metodo di Gibbs & Holtz (1957) è valido per le sabbie da fini a grossolane pulite, per qualunque valore di pressione efficace, in

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di $Dr(\%)$ viene sovrastimato, nel caso di depositi limosi viene sottostimato.

$$Dr(\%) = 21 \sqrt{\frac{N_{spt}}{\sigma + 0,7}}$$

dove σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cmq e N_{spt} il numero di colpi medio misurato nello strato.

Il metodo fornisce generalmente valori in eccesso rispetto agli altri, nei primi metri di approfondimento della prova.

b) Schultze & Mezembach

Il metodo di Schultze & Mezembach (1961) è valido per le sabbie da fini a ghiaiose, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di $Dr(\%)$ viene sovrastimato, nei depositi limosi viene sottostimato.

$$\ln(Dr\%) = 0,478 \ln(N_{spt}) - 0,262 \ln(\sigma) + 2,84$$

c) Skempton

Il metodo è valido per le sabbie da fini a grossolane, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di $Dr(\%)$ viene sovrastimato, nei depositi limosi viene sottostimato.

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$Dr(\%) = 100 \sqrt{\frac{N_{spt} \sqrt{\frac{98}{\sigma}}}{32 + 0.288\sigma}}$$

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

dove:

σ = pressione efficace in kPa;
Nspt = numero di colpi medio nello strato.

d) Skempton 1986

E' una variante della formula precedente basata sulla determinazione del parametro N1 (resistenza penetrometrica normalizzata rispetto alla pressione efficace di 1 kg/cmq).

N1 viene valutato con la relazione di Liao e Whitman (1986):

$$N1 = N_{spt} \left(\frac{1}{\sigma_{v0}'} \right)^{0.5}$$

dove σ_{v0}' è la pressione efficace alla profondità di lettura.

La densità relativa viene quindi calcolata con la relazione:

$$Dr\% = 100 \sqrt{\frac{N1}{60}}$$

3.3.1.3) Modulo di deformazione (modulo di Young).

a) Tornaghi et al.

Il metodo è valido per sabbia + ghiaia e sabbia pulita. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di Nspt ad una diminuzione di E con la profondità.

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(MPa) = B \sqrt{Nspt}$$

dove Nspt è il numero di colpi medio nello strato mentre B è una costante pari a 7 Mpa. La relazione va considerata inattendibile per

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

Nspt molto bassi o molto alti Nel primo caso E risulta eccessivamente elevato, nel secondo caso eccessivamente basso.

b) Schmertmann

Il metodo è valido per le sabbie in genere. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di Nspt ad una diminuzione di E con la profondità. Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(kg / cmq) = 2BNspt$$

dove Nspt è il numero di colpi medio nello strato e B è una costante variabile in funzione della litologia:

B	Litologia
4	sabbia fine
6	sabbia media
10	sabbia grossolana

c) Stroud

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(MPa) = \alpha Nspt$$

dove Nspt è il numero di colpi medio nello strato mentre α è una grandezza che varia in funzione di Nspt secondo la formula:

$$\alpha = -0.00107Nspt^2 + 0.136Nspt + 1.503 .$$

d) D'Appolonia et Alii.

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

Il metodo di D'Appolonia è valido per sabbia+ghiaia e sabbie sovraconsolidate. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di E con la profondità.

$$E(kg / cmq) = 7,71N_{spt} + 191 \text{ (Ghiaia + sabbia)}$$

$$E(kg / cmq) = 10,63N_{spt} + 375 \text{ (Sabbia SC)}$$

e) Schultze e Menzebach.

Il metodo di Schultze e Menzebach è valido per sabbia sotto falda. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di E con la profondità.

$$E(kg / cmq) = 5,27N_{spt} + 76$$

f) Webb.

Il metodo di Webb è valido per sabbia sotto falda o sabbia con fine plastico. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di E con la profondità.

$$E(kg / cmq) = 4,87N_{spt} + 73 \text{ (Sabbia satura)}$$

$$E(kg / cmq) = 3,22N_{spt} + 16 \text{ (Sabbia con fine plastico)}$$

3.3.1.4) Modulo edometrico.

a) Farrent.

Il metodo di Farrent è valido per le sabbie in genere. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di M con la profondità.

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

$$M (kg / cmq) = 7,1N_{spt}$$

b) Menzebach e Malcev.

Il metodo di Menzebach e Malcev è valido per le sabbie in genere. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di M con la profondità.

$$M (kg / cmq) = 3,54N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia fine)}$$

$$M (kg / cmq) = 4,46N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia media)}$$

$$M (kg / cmq) = 10,46N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia + ghiaia)}$$

$$M (kg / cmq) = 11,84N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia ghiaiosa)}$$

3.3.1.5) Modulo di deformazione di taglio.

a) Ohsaki & Iwasaki

Il metodo di Ohsaki & Iwasaki, valido per le sabbie pulite o con fine plastico (limo o argilla), si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 (t / mq) = a N_{spt}^b$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio nello strato mentre a e b sono costanti dipendenti dalla granulometria del deposito secondo il seguente schema:

a	b	Granulometria
650	0.94	Sabbie pulite
1182	0.76	Sabbie con fine plastico

b) Crespellani e Vannucchi

Il metodo di Crespellani e Vannucchi, valido per le sabbie in generale, si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 (t / mq) = 794 N_{spt}^{0.611}$$

3.3.1.6) Velocità delle onde S.

a) Ohta & Goto

Secondo la relazione proposta dagli Autori la velocità delle onde S è stimabile con la relazione:

$$V_s (m / s) = C_s N_{spt}^{0.171} z^{0.199} F_a F_g$$

dove:

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

$C_s =$	Costante empirica = 67.3
z (m)=	Profondità di misura
$F_a =$	Fattore dipendente dall'età geologica del deposito $F_a = 1$ per depositi olocenici $F_a = 1.3$ per depositi pleistocenici
$F_g =$	Fattore dipendente dalla granulometria del deposito $F_g = 1.45$ per le ghiaie $F_g = 1.15$ per le sabbie ghiaiose $F_g = 1.14$ per le sabbie grossolane $F_g = 1.07$ per le sabbie medie $F_g = 1.09$ per le sabbie fini

3.3.1.6) Rapporto τ/σ .

La resistenza alla liquefazione di una sabbia può essere valutata con la relazione empirica di Seed e Idriss.

$$\tau/\sigma = \frac{N_1}{90}$$

dove:

$$N_1 = [1 - 1,25 \text{Log}_{10}(\sigma_v')] N_{spt}$$

3.3.2) Parametri degli strati coesivi.

I parametri geotecnici calcolabili per terreni coesivi (componente limosa o argillosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori di N_{spt} sono i seguenti:

- coesione non drenata C_u ;
- modulo edometrico E_d ;
- rapporto di sovraconsolidazione OCR;
- modulo dinamico di taglio G_0 .

3.3.2.1) Coesione non drenata.

La prova penetrometrica non fornisce, in generale, valori attendibili per i terreni coesivi. Ci si può orientare nella scelta dei valori di c_u proposti di seguito considerando che:

- nessuna correlazione tiene conto delle pressioni efficaci e del grado di sovraconsolidazione (OCR);
- i metodi si applicano ad argille non sensitive e portano ad una sotto stima di c_u , nel caso di materiali con elevato indice di sensibilità;
- vista la non trascurabile dispersione dei dati, i metodi vanno applicati con prudenza e solo per stime di primo riferimento.

a) Terzaghi & Peck

Il metodo è valido per argille di media plasticità e si basa sulla seguente relazione:

$$c_u \text{ (kg / cmq)} = 0,067 N_{spt}$$

b) DM-7 (Design Manual for Soil Mechanics)

Il metodo è valido per le argille in genere e si basa sulle seguenti relazioni:

$$c_u \text{ (kg / cmq)} = 0,038 N_{spt} \text{ (argille a bassa plasticità)}$$

$$c_u \text{ (kg / cmq)} = 0,074 N_{spt} \text{ (argille a media plasticità)}$$

$$c_u \text{ (kg / cmq)} = 0,125 N_{spt} \text{ (argille ad alta plasticità)}$$

c) Sanglerat

Il metodo è valido per argille di media e bassa plasticità e si basa sulle seguenti relazioni:

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

$$c_u (kg / cmq) = 0,125 N_{spt} \text{ (argille a media plasticità)}$$

$$c_u (kg / cmq) = 0,100 N_{spt} \text{ (argille limose)}$$

$$c_u (kg / cmq) = 0,067 N_{spt} \text{ (argille limo-sabbiose)}$$

d) Shioi - Fukui

Il metodo è valido per argille di media e alta plasticità e si basa sulle seguenti relazioni:

$$c_u (\text{kg} / \text{cmq}) = 0,025 N_{spt} \text{ (argille a media plasticità)}$$

$$c_u (\text{kg} / \text{cmq}) = 0,05 N_{spt} \text{ (argille ad alta plasticità)}$$

3.3.2.2) Modulo edometrico.

a) Stroud e Butler

Il metodo è valido per argille di media plasticità e bassa plasticità si basa sulla seguente relazione:

$$E_d (\text{kg} / \text{cmq}) = 5 N_{spt} \text{ (argille a media plasticità)}$$

$$E_d (\text{kg} / \text{cmq}) = 6 N_{spt} \text{ (argille a bassa plasticità)}$$

3.3.2.3) Rapporto di sovraconsolidazione.

a) Ladd e Foot

Si basa sulla seguente relazione:

$$OCR = \left(\frac{Cu}{\sigma KK} \right)^{1.25}$$

dove:

Cu = coesione non drenata dello strato (Kg/cmq);

σ = pressione efficace a metà strato (Kg/cmq);

KK = $7 - Kp$, parametro correttivo in funzione della profondità.

Kp viene calcolato come illustrato dalla seguente tabella:

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

Profondità media dello strato, P(m)	Kp
$P \leq 1$	$Kp = 0.2 \frac{P}{p}$
$1 < P < 4$	$Kp = \left(\frac{0.2}{p}\right) + \left[\frac{0.35(P-1)}{p}\right]$
$P > 4$	$Kp = \left(\frac{0.2}{p}\right) + \left(0.35 \frac{3}{p}\right) + \left[\frac{0.5(P-4)}{p}\right]$

dove p è il passo di lettura della prova espresso in metri.
 Nel caso risultasse $KK < 0.25$ si pone $KK = 0.25$.

3.3.2.4) Modulo dinamico di taglio.

a) Ohsaki & Iwasaki

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 (t / mq) = aNspt^b$$

con $a = 1400$ e $b = 0.78$.

Il metodo è valido per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille). Vista la non trascurabile dispersione dei dati, il metodo va applicato con prudenza e solo per stime di primo riferimento.

3.4) Calcolo della portanza di fondazioni superficiali.

a) Formula di Meyerhof

Meyerhof ha proposto le seguenti relazioni:

$$Q_{amm}(KPa) = \left(\frac{B + 0.3}{B} \right)^2 \frac{N_{spt}}{0.06} Kd, \text{ per } B > 1.2 \text{ m}$$

$$Q_{amm}(KPa) = Kd \frac{N_{spt}}{0.04}, \text{ per } B \leq 1.2 \text{ m}$$

dove:

- Kd = 1 + 0.33(D/B), per Kd ≤ 1.33;
- Nspt = numero di colpi di punta medio nello strato;
- D = profondità di posa della fondazione;
- B = larghezza della fondazione.

Questa relazione ha il vantaggio di legare il valore della portanza oltre che alle caratteristiche del terreno anche alla geometria della fondazione.

Va usata nei terreni prevalentemente incoerenti. Da notare che la formula fornisce direttamente la portanza ammissibile, senza che sia necessario introdurre ulteriori coefficienti di sicurezza.

b) Formula degli Olandesi

La formula degli Olandesi si basa sulla seguente relazione :

$$Q_{lim}(Kg / cmq) = \frac{P^2 H}{20 A_p R_f (P + P_a + P_t)}$$

dove:

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

- P (kg) = peso del maglio;
- H (cm) = volata del maglio;
- Ap (cmq) = area della punta;
- Rf (cm) = rifiuto medio, dato dal rapporto fra lunghezza del tratto d'avanzamento e numero di colpi per tratto d'avanzamento (per es.30/Nspt per penetrometri pesanti tipo Meardi);
- Pa (kg) = peso della colonna di aste;
- Pt (kg) = Peso della testa di battuta.

La Formula degli Olandesi rispetto a quella di Meyerhof non permette di correlare la portanza alle caratteristiche geometriche della fondazione, e in particolare al parametro D (profondità di posa della fondazione). Va quindi usata con molta prudenza e solo per stime di massima.

c) Parry

Il metodo di Parry si basa sulla seguente relazione :

$$Q_{amm}(KPa) = \frac{30N_{spt}}{F_s}$$

dove: F_s = coefficiente di sicurezza, di solito posto uguale a 3.

3.5) Calcolo dei cedimenti di fondazioni superficiali.

I cedimenti nel programma vengono calcolati con le relazioni proposte da Schmertmann, per gli strati incoerenti, e da Terzaghi, per gli strati coesivi, passando attraverso la stima del modulo di deformazione o edometrico, con le metodologie di calcolo presentate in precedenza.

3.5.1) Metodo semplificato di Terzaghi

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

Si tratta di un metodo speditivo utile per avere una prima indicazione dell'ammontare del cedimento. La relazione è la seguente:

$$s = dH \frac{Qz}{Ed}$$

dove:

- dH = spessore dello strato;
- Qz = incremento di pressione dovuto al sovraccarico applicato dalla fondazione a meta strato, calcolabile con uno dei metodi descritti nel precedente capitolo;
- Ed = modulo edometrico dello strato.

Il calcolo va esteso a tutti gli strati di fondazione e i risultati sommati. Il cedimento totale sarà quindi espresso dalla seguente relazione:

$$S = \sum_{i=1}^n s_i ,$$

dove n è il numero degli strati di fondazione.

3.5.2) Metodo di Schmertmann

Il metodo di Schmertmann viene usato per calcolare il cedimento immediato e secondario di terreni incoerenti ed ha la seguente espressione:

$$S = C_1 C_2 Q \sum_{i=1}^n \left(\frac{Iz_i}{E_i} \cdot dH \right)$$

dove:

- Q = carico netto applicato sulla fondazione;
- C₁ = 1-0.5(σ/Q), fattore correttivo per tenere conto dell'approfondimento della fondazione dove σ è la pressione efficace al piano di posa della fondazione

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

- C_2 = $(C_1 \geq 0.5)$;
= $1 + 0.21 \log (T/0.1)$, fattore correttivo per tenere conto del cedimento secondario dove T è il tempo di calcolo del cedimento in anni;
- σ = pressione efficace al piano di posa della fondazione;
- n = numero degli strati;
- dH = spessore dello strato;
- E_i = modulo di deformazione dello strato i-esimo;
- l_z = fattore d'influenza per tenere conto della diffusione del carico netto applicato sulla fondazione nel terreno; ha una distribuzione di tipo triangolare che dipende dalla geometria della fondazione.

3.6) Calcolo della portanza di un palo.

La portanza ammissibile di un palo viene generalmente valutata con la relazione:

$$Q_{amm}(t) = \frac{Q_{punta} + Q_{laterale}}{F_s} - P_{palo}$$

dove:

- Q_{punta} = portanza di punta del palo;
- $Q_{laterale}$ = portanza laterale del palo;
- P_{palo} = peso del palo;
- F_s = fattore di sicurezza (di solito $\geq 2,5$);

Per correlare Q_{punta} e $Q_{laterale}$ con N_{spt} il programma utilizza il metodo di Meyerhof.

a) Meyerhof.

Valido solo per pali infissi, la Q_{punta} e la $Q_{laterale}$ vengono calcolate con le seguenti relazioni:

PROGRAM GEO – SCPT ver.3.6

$$Q_{laterale}(t) = 0,2A_{lat}N_{spt}$$

$$Q_{punta}(t) = 40A_{base}N_{spt}$$

dove:

A_{lat} = area laterale del palo in mq;
 A_{base} = area di base del palo in mq.